การประยุกต์ใช้ถังปฏิกรณ์อีจีเอสบีสำหรับบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียกากสาจากโรงงานสุรา

นางสาวพัชรินทร์ นันทิวาวัฒน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-4133-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- 7 ก.ย. 2548

I21565016

APPLICATION OF EXPANDED GRANULAR SLUDGE BED REACTOR FOR TREATMENT OF ORGANIC MATTERS IN DISTILLERY SLOP WASTEWATER

Miss Patcharin Nuntiwawat

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering in Environmental Engineering

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2003

ISBN 974-17-4133-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์ใช้ถังปฏิกรณ์อีจีเอสบีสำหรับบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียกากส่าจากโรงงานสุรา
โดย	นางสาวพัชรินทร์ นันทิวาวัฒน์
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระ เกรอต)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ อรทัย ชวาลภาฤทธิ์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.พิชญ รัชฎาวงศ์)

พัชรินทร์ นันทิวาวัฒน์ : การประยุกต์ใช้ถังปฏิกรณ์อีจีเอสบีสำหรับบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียกากส่าจากโรงงานสุรา (APPLICATION OF EXPANDED GRANULAR SLUDGE BED REACTORS FOR TREATMENT OF ORGANIC MATTERS IN DISTILLERY SLOP WASTEWATER) อ.ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล,158 หน้า. ISBN 974-17-4133-2.

งานวิจัยนี้เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบอีจีเอสบีในการบำบัดน้ำเสียกากส่าสดจากโรงงานสุราแสงโสม โดยศึกษาถึงผลของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ และเปรียบเทียบความเร็วไหลขึ้นในถังปฏิกรณ์ โดยให้น้ำเข้ามีความเข้มข้นซีโอดีคงที่เท่ากับ 5,000 มก./ล. แต่แปรค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 5 10 และ 15 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และเปรียบเทียบความเร็วไหลขึ้นในถังปฏิกรณ์ชุดที่ 1 และ 2 ซึ่งมีความเร็วไหลขึ้น 3 และ 5 ม./ชม. ตามลำดับ

ผลการทดลองพบว่าที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 5 10 และ 15 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีเวลากัก 24 12 และ 8 ชั่วโมง ตามลำดับ ร้อยละการกำจัดซีโอดีในถังปฏิกรณ์ชุดที่ 1 (ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.) มีค่าเฉลี่ย 50 51 และ 53 ตามลำดับ ปริมาณก๊าซชีวภาพเกิดขึ้น 1.4 4.5 และ 5.7 ลิตร/วัน คิดเป็นอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด 0.27 0.43 และ 0.33 ล./ก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด โดยมีร้อยละของก๊าซมีเทน 65.2 60.1 และ 57.8 ตามลำดับ ส่วนถังปฏิกรณ์ชุดที่ 2 (ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.) มีค่าเฉลี่ยในการกำจัดซีโอดีคิดเป็นร้อยละ 51 53 และ 55 ตามลำดับ ปริมาณก๊าซชีวภาพเกิดขึ้น 1.3 4.1 และ 5.4 ลิตร/วัน คิดเป็นอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด 0.25 0.38 และ 0.31 ล./ก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด โดยมีร้อยละของก๊าซมีเทน 65.6 60.3 และ 58.2 ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการลดสีมีค่าเท่า 9-11 เปอร์เซ็นต์ในทุกชุดการทดลอง

นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ทดลองเพิ่มเติมเพื่อศึกษาผลของการเพิ่มภาระบรรทุกสารอินทรีย์แบบทันทีทันใด โดยเพิ่มภาระบรรทุกสารอินทรีย์จาก 15 เป็น 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน เวลากักลดลงเหลือ 4.8 ชม. พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีลดลงเหลือ 48 เปอร์เซ็นต์ในถังปฏิกรณ์ชุดที่ 1 และ 49 เปอร์เซ็นต์ ในถังปฏิกรณ์ชุดที่ 2 ทั้งนี้เนื่องจากอัตราส่วน F/M มีมากเกินกว่าที่ต้องการ ปริมาณก๊าซชีวภาพเกิดขึ้น 9.6 และ 9.1 ลิตร/วัน คิดเป็นอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อซีโอดีที่ถูกกำจัด 0.39 และ 0.37 ล./ก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด โดยมีร้อยละของก๊าซมีเทน 54.7 และ 55.1 ตามลำดับ ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นมากนี้ส่งผลให้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ลอยขึ้นไปติดกับเครื่องแยกตะกอนในปริมาณมาก เนื่องจากระดับชั้นตะกอนขยายตัวมาก จึงทำให้ระยะตกตะกอนลดลง ส่วนพารามิเตอร์อื่นๆ มีค่าใกล้เคียงกับชุดการทดลองอื่น

จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบอีจีเอสบีสามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วันได้ และยังป้องกันการเพิ่มภาระบรรทุกสารอินทรีย์แบบทันทีทันใดได้เป็นอย่างดี และยังสามารถลดค่าใช้จ่ายสารเคมีโซเดียมไบคาร์บอเนตที่ใช้ปรับสภาพด่างก่อนเข้าระบบได้ถึง 1.55 ก./ลิตร คิดเป็นเงิน 27.9 บาท/ลบ.ม.

ภาควิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....ลายมือชื่อนิสิต.....พัชรินทร์ นันทิวาวัฒน์.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา.....2546.....

4470432421 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEY WORD : EGSB / DISTILLERY SLOP / GRANULAR SLUDGE BED / UASB

PATCHARIN NUNTIWAWAT : APPLICATION OF EXPANDED GRANULAR SLUDGE BED REACTORS FOR TREATMENT OF ORGANIC MATTERS IN DISTILLERY SLOP WASTEWATER. THESIS ADVISOR : ASST.PROF.CHAVALIT RATANATAMSKUL, Ph.D.,158 pp. ISBN 974-17-4133-2.

The research is aims to study on the efficiencies of Expanded Granular Sludge Bed (EGSB) system applied to the treatment of distillery slop wastewater. The research examined the effects of organic loading rate and compares upflow velocity in the reactors. The influent COD content was 5,000 mg/l on average, while the organic loading rate varied by 5, 10 and 15 kg-COD/m^3-day. The upflow velocity levels of the reactor 1 and 2 were 3 and 5 m/hr, respectively.

The results show that the system having organic loading rate at 5, 10 and 15 kg-COD/m^3-day has hydraulic retention time (HRT) 24, 12 and 8 hours, respectively. Average percentages of COD removal in Reactor 1 (whose upflow velocity is 3 m/hr) were 50, 51 and 53 percent, respectively. Biogas contents in Reactor 1 were 1.4, 4.5 and 5.7 l/day that contained methane 65.2, 60.1 and 57.8 percent, respectively. While average percentages of COD removal in Reactor 2 (whose upflow velocity is 5 m/hr) are 51, 53 and 55 percent, respectively. Biogas contents in Reactor 2 are 1.3, 4.1 and 5.4 l/day that contain methane 65.6, 60.3 and 58.2 percent, respectively. Biogas production per gram of COD removal was 0.27, 0.43 and 0.33 l/g COD removed in Reactor 1 and 0.25, 0.38 and 0.31 l/g COD removed in Reactor 2 for reactor with HRT of 24, 12 and 8 hours, respectively. The efficiency of color removal is in the range of 9-11 percent in every experiment.

There was also an additional experiment to study effects from an increase in organic loading rate suddenly from 15 kg-COD/m^3-day of 25 kg-COD/m^3-day and the declining of hydraulic retention time to be 4.8 hours. It was found that the efficiency of COD removal in Reactor 1 and 2 slightly decreased to be 48 and 49 percent, respectively. This was due to the exceeding F/M ratio. Biogas contents in the reactors were 9.6 and 9.1 l/day, respectively. This plenty amount of gas affected the rising biomass that stuck on the surface of gas transporting pipe in gas-solid separator. As there was a large expansion of the sludge bed, the height of sedimentation zone therefore decreased. Other parameters contents were similarly to those of the other experiments. It shows that the Expanded Granular Sludge Bed (EGSB) system has a high potential to accept high organic loading rate upto 25 kg-COD/m^3-day and prevent the sudden increase in organic loading. Moreover, The system could reduce sodium bicarbonate consumption for alkalinity adjustment. The saving cost was approximately 27.9 bahts/ m^3

Department...Environmental Engineering..... Student's signature Patcharin Nuntiwawat

Field of Study ... Environmental Engineering... Advisor's signature Chavalit Ratanatamskul

Academic year...2003.....

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งให้ความรู้ คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย ตลอดจนให้การสนับสนุน และช่วยเหลือในด้านต่างๆ

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระ เกรอต รองศาสตราจารย์อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ และอาจารย์ ดร.พิชญ รัชฎาวงศ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำรวมทั้งตรวจทานวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์

ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ได้มอบความรู้ซึ่งเป็นประโยชน์กับตัวผู้ทำวิจัย และทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้

ขอขอบพระคุณ บริษัท สุราแสงโสม จำกัด ที่อนุญาตให้นำน้ำเสียมาใช้ในการทำวิจัย ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่บริษัททุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกในการเก็บน้ำเสียเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ โรงงานแป้งหมี่ชอเฮง ที่ให้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์เพื่อใช้ในการวิจัย ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่โรงงานทุกท่านที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการเก็บเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการและเจ้าหน้าที่ธุรการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ได้ช่วยเหลือสนับสนุนด้วยดีตลอดงานวิจัย

ขอขอบพระคุณทุนบัณฑิตวิทยาลัย ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ นิสิตปริญญาโท ที่ช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ ให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ด้วยดีตลอดมา

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยกราบขอบพระคุณพ่อแม่ ที่คอยอบรมสั่งสอน และเป็นกำลังใจที่สำคัญที่สุด ที่ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และที่สำคัญให้การสนับสนุนเงินในการทำวิจัยด้วยดีเสมอมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ
กิตติกรรมประกาศ.....ฉ
สารบัญ.....ช
สารบัญตาราง.....ญ
สารบัญรูป.....ฏ

บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1
1.2 วัตถุประสงค์.....2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....3
2.1 น้ำทิ้งจากโรงงานสุรา.....3
2.1.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตสุรา.....3
2.1.2 กระบวนการผลิตสุราจากกากน้ำตาล.....3
2.1.3 ประเภทน้ำทิ้งจากโรงงานสุรา.....5
2.1.4 การกำจัดน้ำกากส่า.....6
2.2 การบำบัดชีวภาพแบบไร้ออกซิเจน.....9
2.2.1 ลักษณะสมบัติทางชีวเคมีของกระบวนการไร้ออกซิเจน.....9
2.2.2 ขั้นตอนของปฏิกิริยาการย่อยไร้ออกซิเจน.....10
2.3 ระบบหมักก๊าซชีวภาพแบบยูเอเอสบี (UASB).....18
2.3.1 การทำงานของระบบยูเอเอสบี.....18
2.3.2 ข้อดีและข้อเสียของระบบยูเอเอสบี.....20
2.3.3 ประเภทของ Granular Sludge ในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี.....22
2.3.4 โครงสร้างของแบคทีเรียในเม็ดจุลชีพ (Granules).....23
2.3.5 กระบวนการเกิดตะกอนเม็ด (Process of granulation).....28
2.3.6 พารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมการทำงาน.....29
2.3.7 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบยูเอเอสบี.....30
2.3.8 งานวิจัยเกี่ยวกับการบำบัดสีน้ำกากส่าโดยวิธีทางชีวภาพ.....33

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3.9 งานวิจัยเกี่ยวกับระบบยูเอเอสบีที่ผ่านมา 34
2.4 ระบบอีจีเอสบี (Expanded Granular Sludge Bed)..... 37
2.4.1 ปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบยูเอเอสบี..... 37
2.4.2 คุณสมบัติของระบบอีจีเอสบี.....39
2.4.3 งานวิจัยอีจีเอสบีที่ผ่านมา..... 41
บทที่ 3 การวางแผนการวิจัย..... 43
3.1 แผนการทดลอง.....43
3.2 การเตรียมน้ำเสีย..... 44
3.2.1 ส่วนประกอบน้ำเสีย..... 44
3.2.2 วิธีการเตรียมน้ำเสีย..... 45
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 45
3.4 การติดตั้งเครื่องมือและหลักการทำงาน..... 46
3.5 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์.....49
3.6 การควบคุมการทดลอง 50
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิจารณ์ 51
4.1 การดำเนินการวิจัย 51
4.2 ผลการทดลอง.....52
4.2.1 การศึกษาผลของภาระบรรทุกสารอินทรีย์และความเร็วไหลขึ้น
ในถังปฏิกรณ์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบ.....52
4.2.2 ผลการศึกษาการเพิ่มภาระบรรทุกสารอินทรีย์แบบทันทีทันใดที่
ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน..... 72
4.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง 80
4.4 การขยายตัวของชั้นตะกอนจุลินทรีย์ 99
4.5 ผลของความเร็วไหลขึ้นที่มีต่อประสิทธิภาพระบบอีจีเอสบี.....101
4.6 เม็ดตะกอนจุลินทรีย์.....104
4.6.1 ลักษณะของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์..... 104
4.6.2 ผลของความเร็วไหลขึ้นที่มีต่อขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์.....107
4.7 การวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพ.....109
4.8 การวิเคราะห์พีเอชและสภาพด่างทั้งหมด.....112

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.9 ข้อดีและข้อเสียของระบบอีจีเอสบีที่ได้จากงานวิจัย.....115
4.10 เกณฑ์การออกแบบที่ได้จากงานวิจัย 116
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....117
5.1 สรุปผลการทดลอง 117
5.2 ข้อเสนอแนะ 118
รายการอ้างอิง.....119
ภาคผนวก.....123
ภาคผนวก ก ผลการทดลอง 124
ภาคผนวก ข การหาปริมาณก๊าซชีวภาพ.....148
ภาคผนวก ค ข้อมูลการคำนวณสภาพด่างและพีเอชน้ำออกจากระบบ 151
ภาคผนวก ง การกระจายขนาดของเม็ดตะกอนจุลชีพ.....155
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 158

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 การเปรียบเทียบราคาค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำกากส่าโดยวิธีต่าง ๆ 8

2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจน และ ผลผลิตสุดท้ายของกระบวนการไร้อากาศ 13

2.3 เปรียบเทียบระหว่างระบบยูเอเอสบีกับระบบหมักแบบประสิทธิภาพสูงอื่น ๆ..... 21

3.1 แผนการทดลอง..... 44

3.2 แสดงอัตราการสูบเวียนกลับที่ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆที่เปลี่ยนแปลง สัมพันธ์กับค่าความเร็วไหลขึ้น (UV) ในถังปฏิกรณ์.....44

3.3 พารามิเตอร์น้ำเสียกากส่าที่ใช้ในการทดลอง..... 45

3.4 การเก็บตัวอย่างและพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์..... .49

4.1 ขั้นตอนการทำวิจัย.....52

4.2 สรุปค่าเฉลี่ยผลการทดลองชุดที่ 1 ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน.....53

4.3 สรุปค่าเฉลี่ยผลการทดลองชุดที่ 2 ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน..... 54

4.4 สรุปค่าเฉลี่ยผลการทดลองชุดที่ 3 ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 15 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน..... 55

4.5 สรุปค่าเฉลี่ยผลการทดลองชุดที่ 4 ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน.....73

4.6 สรุปค่าเฉลี่ยซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดที่เกิดขึ้นตามภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 80

4.7 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของน้ำกากส่าจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 82

4.8 สรุปค่าเฉลี่ยของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัดที่เกิดขึ้นตามภาระบรรทุกสารอินทรีย์.....83

4.9 สรุปค่าเฉลี่ยความเข้มสีและประสิทธิภาพการลดสีตามภาระบรรทุกสารอินทรีย์.....84

4.10 สรุปค่าเฉลี่ยสภาพด่างทั้งหมดตามภาระบรรทุกสารอินทรีย์.....87

4.11 สรุปค่าเฉลี่ยปริมาณกรดไขมันระเหยตามภาระบรรทุกสารอินทรีย์.....88

4.12 ค่าเฉลี่ยกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดตามภาระบรรทุกสารอินทรีย์..... 89

4.13 ค่าพีเอชเฉลี่ยตามภาระบรรทุกสารอินทรีย์..... 90

4.14 ค่าโออาร์พีเฉลี่ยตามภาระบรรทุกสารอินทรีย์..... 91

4.15 สรุปค่าเฉลี่ยทีเคเอ็นและประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นตามภาระบรรทุกสารอินทรีย์..... 92

4.16 สรุปค่าบีโอดี 5 วัน และประสิทธิภาพการกำจัดตามภาระบรรทุกสารอินทรีย์..... 94

4.17 ค่าบีโอดีต่อซีโอดีเฉลี่ยตามภาระบรรทุกสารอินทรีย์..... 95

4.18 อุณหภูมิเฉลี่ยตามภาระบรรทุกสารอินทรีย์..... 96

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.19 ก๊าซชีวภาพและเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนเฉลี่ยตามภาระบรรทุกสารอินทรีย์.....97

4.20 แสดงระดับการขยายตัวของชั้นตะกอนจุลชีพตามภาระบรรทุกสารอินทรีย์.....99

4.21 ผลของความเร็วไหลขึ้นที่มีต่อพารามิเตอร์ในทุกภาระบรรทุกสารอินทรีย์.....101

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 แผนผังแสดงกรรมวิธีการผลิตสุรา....4

2.2 แสดงขั้นตอนของปฏิกิริยาไร้ออกซิเจน....12

2.3 แสดงวิถีการเปลี่ยนแปลงด้วยกระบวนการไร้ออกซิเจนของไขมัน โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต....12

2.4 แสดงการเคลื่อนย้ายของพลังงานในกระบวนการไร้อากาศ....17

2.5 แสดงระบบแบบไร้อากาศที่รับภาระบรรทุกสูง (high rate) ประเภทต่าง ๆ.... 18

2.6 แสดงส่วนประกอบของระบบยูเอเอสบี.... 19

2.7 แสดงรายละเอียดของ GSS ที่ใช้ในระบบยูเอเอสบี....19

2.8 แสดงโครงสร้างของเม็ดจุลชีพในระบบยูเอเอสบีบำบัดน้ำเสียกลูโคส.... 23

2.9 แสดงโครงสร้างและความหนาแน่นของแบคทีเรียในน้ำเสียประเภทคาร์โบไฮเดรต....25

2.10 แสดงบทบาทของประจุไฟฟ้าและ ECP ที่ส่งผลต่อการรวมตัวของแบคทีเรีย....26

2.11 แสดงกลไกการเคลื่อนไหวต่างๆ ที่มีผลต่อการรวมตัวของเซลล์แบคทีเรีย....27

2.12 แสดงกลไกของการรวมตัวระหว่างแบคทีเรีย 2 เซลล์ โดยอาศัย ECP จนกลายเป็นจุลชีพ..28

2.13 แผนผังส่วนประกอบของระบบUASB และ EGSB....38

3.1 แบบจำลองถังปฏิกรณ์อีจีเอสบี....47

3.2 แสดงการติดตั้งและหลักการทำงานของระบบอีจีเอสบี....48

3.3 เครื่องวัดปริมาณก๊าซ.... 48

4.1 ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่าง ๆ.... 57

4.2 ของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัดที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่าง ๆ....59

4.3 ความเข้มสีและประสิทธิภาพการลดสีที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่าง ๆ.... 61

4.4 สภาพด่างทั้งหมดที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่าง ๆ.... 63

4.5 ปริมาณกรดไขมันระเหยที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่าง ๆ.... 63

4.6 ค่าพีเอชที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่าง ๆ.... 65

4.7 โออาร์พีที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่าง ๆ 65

4.8 ทีเคเอ็นและประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่าง ๆ.... 67

4.9 บีโอดี 5 วัน และประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดี 5 วันที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่าง ๆ.... 69

4.10 อุณหภูมิที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่าง ๆ.... 71

4.11 ก๊าซชีวภาพที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่าง ๆ.... 71

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า
4.12 ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน.. 72
4.13 ของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยที่
ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน..... 74
4.14 ความเข้มสีและประสิทธิภาพการลดสีที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน... 75
4.15 สภาพด่างทั้งหมดที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน..... 76
4.16 ปริมาณกรดไขมันระเหยที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน..... 76
4.17 พีเอชที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน..... 77
4.18 โออาร์พีที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน..... 77
4.19 ทีเคเอ็นและประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์
25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน..... 78
4.20 บีโอดี 5 วัน และประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดี 5 วันที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์
25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน..... 78
4.21 อุณหภูมิที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน..... 79
4.22 ก๊าซชีวภาพที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน..... 79
4.23 ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ยตามภาระบรรทุกสารอินทรีย์..... 81
4.24 ของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ยตลอดการทดลอง..... 83
4.25 สีของน้ำเข้าและออกจากระบบตามภาระบรรทุกสารอินทรีย์..... 85
4.26 ความเข้มสีและประสิทธิภาพการลดสีเฉลี่ยตามภาระบรรทุกสารอินทรีย์..... 86
4.27 สภาพด่างทั้งหมดเฉลี่ยตามภาระบรรทุกสารอินทรีย์..... 87
4.28 กรดไขมันระเหยเฉลี่ยตามภาระบรรทุกสารอินทรีย์..... 88
4.29 กรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดเฉลี่ยตามภาระบรรทุกสารอินทรีย์..... 89
4.30 พีเอชเฉลี่ยตามภาระบรรทุกสารอินทรีย์..... 90
4.31 ค่าโออาร์พีเฉลี่ยตามภาระบรรทุกสารอินทรีย์..... 91
4.32 ทีเคเอ็นและประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นเฉลี่ยตามภาระบรรทุกสารอินทรีย์..... 93
4.33 บีโอดี 5 วัน และประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดี 5 วันเฉลี่ยตามภาระบรรทุกสารอินทรีย์..... 94
4.34 บีโอดี 5 วันต่อซีโอดีเฉลี่ยตามภาระบรรทุกสารอินทรีย์..... 95
4.35 อุณหภูมิเฉลี่ยตามภาระบรรทุกสารอินทรีย์..... 96
4.36 ก๊าซชีวภาพและเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนเฉลี่ยตามภาระบรรทุกสารอินทรีย์..... 98

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.37 การขยายตัวของชั้นตะกอนจุลินทรีย์ตามภาระบรรทุกสารอินทรีย์..... 100

4.38 ผลของความเร็วไหลขึ้นที่มีต่อพารามิเตอร์ในทุกภาระบรรทุกสารอินทรีย์.....102

4.39 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนบริเวณผิวนอกและภายในของ
เม็ดตะกอนจุลินทรีย์จากถังปฏิกรณ์ชุดที่ 1 ที่ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม..... 105

4.40 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนบริเวณผิวนอกและภายในของ
เม็ดตะกอนจุลินทรีย์จากถังปฏิกรณ์ชุดที่ 2 ที่ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม..... 106

4.41 แสดงการกระจายตัวขนาดของเซลล์จุลินทรีย์..... 108

4.42 แสดงปริมาณการกระจายของขนาดเม็ดตะกอนจุลชีพ..... 108